

# 邦題：福島県三春町に飛来した福島第一原発由来の電離放射線に関する 包括的データ 実生プロジェクト

*J. Radiol. Prot. 34 (3) 675-697 (2014)*

小池武志\*      鈴木義孝†      玄侑宗久‡      小林育夫§      小森宏信§      大津秀暁¶  
佐久間寛・和子||      E. M. Sarausad\*\*      島田健司††      篠塚勉††      田村裕和\*  
塚田暁\*      鵜養美冬\*      山本剛史\*      実生プロジェクト‡‡

2014年8月11日

## 概要

2011年3月15日の福島第一原子力発電所(FDNPP)事故で生じた放射線に関するデータを提示する。データ収集は福島県三春町の住民と東北大学が行った。データ群は次の4つから構成される 1)三春町のガイガーカウンターによる最初期の放射線モニタリング、2)福島-東京間の広域にわたるテルル 132 とセシウム 137 の放射能比、3)町内18の校庭から採取された土壌サンプルの放射線測定、そして4)OSL線量計を用いた児童生徒1400人の外部被ばく測定である。これらの断片的なデータを組み合わせた分析にもとづき、2011年3月15日16時00分を時間原点とした外部被ばく総積算量の曲線を得た。平均外部被ばく総積算量は10年間で10 mSv ( $\sigma = 4.2\text{mSv}$ )と推定される。また、福島第一原発事故への対応として三春町民が主導した行動と実生プロジェクトを記録し、とくに町役場が40歳以下の町民にヨウ素剤の即時服用を指示したタイミング、3月15日13時00分についての評価を行う。

## 1 導入：実生プロジェクト

三春町は、日本の福島県にある福島第一原子力発電所(FDNPP)から真西に45キロの位置にある(図1)。2011年3月11日東日本大地震が起こり、津波が福島第一原発を

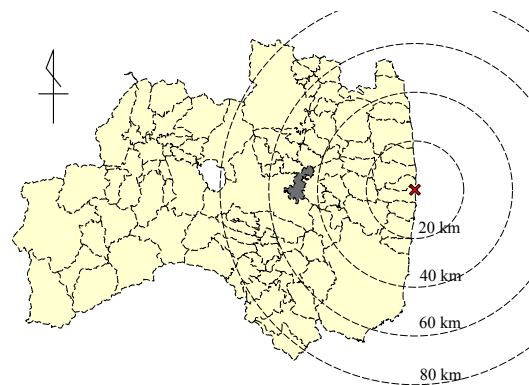


図1 福島県の地図。三春町は黒色の部分。福島第一原発の位置をx印で示す。町は第一原発から西へ約45 kmにある。

襲って、日本史上前例のない原発事故を引き起こした。日本全土を巻き込む大混乱の中で、この人口約1万8000人の三春町は、住民にヨウ素剤を配付した唯一の自治体となったのである。事故当初、三春町はヨウ素剤についての知識もなければ、その存在も知らなかった。だが、第一原発の半径20キロ圏内から避難してきた住民を2000人近く受け入れたことで、町はヨウ素剤の存在に気づく。これら被災者たちには避難先で、ヨウ素剤が配られていたからである。2011年3月12日15時36分(日本標準時)福島第一原発1号機で水素爆発が起こった。その約2時間後、共著者である佐久間寛・和子は、所有するガイガーカウンターで放射線の測定を開始した。測定は今日まで続いているが、最初の3ヶ月分が当論文の提示する第1データ群をなし、3月15日の放射性プルームの到達と通過、そしてその後は第一原発からの目立った放射性降下物(フォールアウト)はない

\* 東北大学 大学院理学研究科

† 三春町町長、実生プロジェクト代表

‡ 三春町福聚寺住職、実生プロジェクト副代表

§ 長瀬ランタウア社

¶ 理化学研究所 仁科センター

|| 福島県三春町在住

\*\* マイクロソフト、アレイサーグループ社

†† 東北大学 ラジオアイソトープセンター

‡‡ 福島県三春町役場他

ことを明確に示している。安定ヨウ素剤が配られた正にその町で、この個人による測定が行われていたことは不幸中の幸いであり、投与のタイミングについて、当論文で行われているような、定量的な評価が可能となった。

2011年5月14日、三春町役場の要請を受け、放射線検出を専門に含む東北大学の共著者有志等が町に赴き、町職員による町内全18箇所の幼稚園・保育園、小中学校からの土壌試料収集の援助やアドバイスを行った。収集された90の試料の放射線測定は東北大学で行い、高純度ゲルマニウム半導体(HPGe)検出器を用いてヨウ素131、セシウム134、137の放射線量を調べた。これらのデータが当論文の第2データ群をなす。

三春の住民たちによるこうした草の根の努力を促進・支援するため、東北大学の共著者陣は三春町役場と連携し、2011年6月20日、役場に「実生(みしょう)プロジェクト」を立ち上げた。その最優先目標を、子どもたちの放射線被曝の把握とモニタリング、さらに、これを外部被ばくだけでなく内部被ばくについても行き、被ばくから子どもを守る適切な防御策を講じることに据えた。これを受けて、2011年7月14日、実生プロジェクトは「光学刺激ルミネセンス(OSL)線量計」を義務教育中の6歳から15歳の、希望する生徒1400人あまりに配付した。三春町は福島県で個人の外部被ばくをモニタリングした最初の行政の一つである。組織的な学校規模でのモニタリングは、最長9年間(日本の義務教育制度で小学校6年間と中学校3年間)続くことになる。第3データ群は、この論文執筆までに実施された計8回のOSL線量計の読取結果である。並行して、三春町教育委員会は2011年11月から2012年2月の間と2012年9月から11月の間の2回、1400人近い小中学校生徒を対象にホールボディカウンター(WBC)による内部被ばくスクリーニングを行った。これらのデータの分析はすでに参考文献[1]に発表されており、当論文では論じない。

当論文は次のような構成になっている。第2節で三春町における最初期のガイガーカウンター測定を記述し、ヨウ素剤投与のタイミングに関する三春町の判断を論ずる。第3節で東日本の広い領域(福島第一原発から半径200キロ圏)で採取した表土試料をもとに、主要な放射性核種間の放射能比を提示する。次いでそれらの比率を他の研究結果と比較する。第4節では三春町の校庭から採取したヨウ素131を含む表土の、放射能測定結果を示す。そして第5節で

OSLバッジを用いた個人の外部被ばく測定結果を示すとともに、当論文が提示する全データを総合して平均外部被ばく総積算量を推定する。

各節はそれぞれ特定のデータ群を扱い、節ごとにほぼ独立した内容となっている。また、各節は古いものから最新のものへと時系列で構成されている。当論文がこのように構成をとるのには理由がある。三春町と環境放射線測定にほとんど経験のなかった科学者たちがいかにしてこの危機に立ち向かったか、その社会的プロセスをきちんと記録したかったからである。正確なデータも科学的コンセンサスもないまま、我々は放射線から身を守る判断を迫られ、その過程で集団的な放射線防御の重要性を身をもって経験した。だからこそ、実生プロジェクトの指針は、独立で中立、そして“できる範囲で科学的であれ”と言明する(実生プロジェクト設立趣意書は付録C)参照)。最後の”できる範囲で科学的であれ”とは、科学調査に求められる厳密さよりも、参加町民の生活の質を重視することを意味する。とはいえ、われわれはなお、ここに挙げたデータ群が福島第一原発で何が起こったかを理解し、住民に与えた影響を評価する世界的な努力に貴重な情報を与えるものと確信している。<sup>\*1</sup>

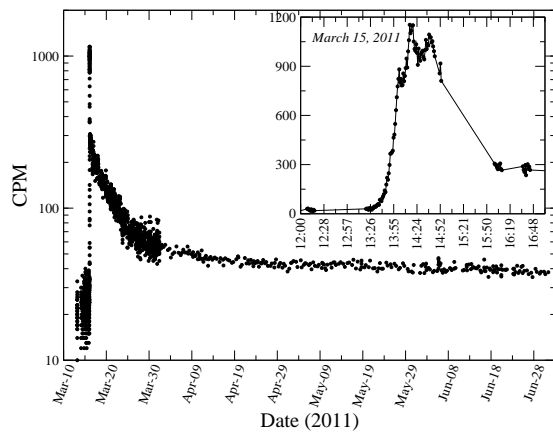


図2 R-DANにより記録された放射線量(CPM)。記録開始は2011年3月12日17時13分(日本標準時)。

<sup>\*1</sup> 本論文は、英国物理学会出版局の *Journal of Radiological Protection* 34 巻(3) 675-697 (2014) に8月14日に掲載予定の「Comprehensive data on ionizing radiation from Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant in town of Miharu, Fukushima prefecture - The Misho Project」の邦訳です。本文中の全ての図の使用に関して、IOP 英国物理学会出版局の許可を得ています。なお、翻訳に関する、間違い、原文と本邦訳との齟齬等については、小池武志に全て責任があります。

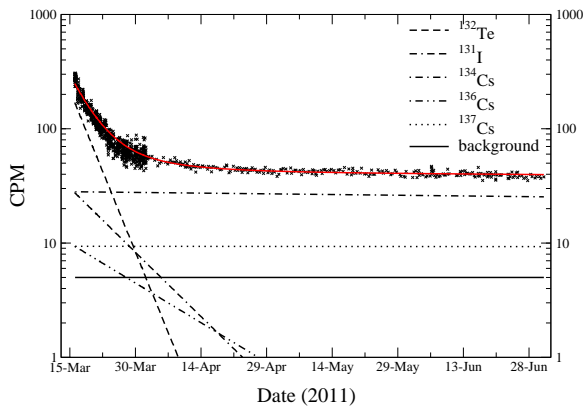


図3 テルル 132、ヨウ素 132、131、セシウム 134、136、137、それに一定の自然放射線に対し、3月15日16時00分以降でフィットさせた減衰曲線。テルル 132 とヨウ素 132 の間には、過渡的平衡 [2] を仮定している。

表1 図3のフィットした減衰曲線のから導いた2011年3月15日16時00分の相対計数率。

放射性核種	半減期	%
$^{132}\text{Te}/^{132}\text{I}$	3.2 日/2.3 時間	68
$^{131}\text{I}$	8.02 日	11
$^{134}\text{Cs}$	2 年	11
$^{136}\text{Cs}$	13 日	4
$^{137}\text{Cs}$	30 年	4
自然放射線		2

## 2 ガイガーカウンターによる最初期の放射線測定

### 2.1 方法とデータ

三春町における最初期の放射線測定は、佐久間寛（元中学校教諭）とその妻和子による、ガイガーカウンター R-DAN（RD-0806、株式会社タウ技研製）[3] を用いたものである。この測定器は1986年のチェルノブイリ事故の4年後の、1990年から20年以上、佐久間夫妻自宅の居間に置いてあった。積分時間は1分である。モニタリングと読取値の記録（体系的な方法で手で記入）は、2011年3月12日17時13分に始まった。同日15時36分、福島第一原発で1号機が爆発していた。1回の測定は1分ごとの数値の読取（CPM）10セット分となる。図2は、2011年3月12日から2ヶ月半にわたるCPMの時間変化を表す。挿入グラフは、3月15日にこの地域を通過した放射性ブルームを分刻みの正確さで見事にとらえている。この日の朝6時頃、第一原発の

2号機では爆発音が記録され、4号機では爆発が観察された。三春町役場と佐久間夫妻の記憶では、ブルームが通過する時、みぞれが降っていた。佐久間夫妻の記録は14時52分から16時00分の間が欠けている。2人によれば、数値が急激に低下したのでほっとし、それまで休みなく手書きで記録をつけてきたので、休憩したという。記録はまた、3月15日以降は目立った放射性降下物がないことも明確に示している。

3月15日、東京の北東を走る主要高速道路に沿って、独立した調査が行われた。その内容は参考文献[4]に報告されている。最も高い放射線量は15時23分、磐越自動車道の郡山東インターチェンジから東へ1.3キロの地点で計測された。これは佐久間夫妻の住まいからわずか5キロ以内である。この調査では同時に、LaBr<sub>3</sub>シンチレーション検出器で得たガンマ線スペクトルから、放射性核種が特定された。佐久間夫妻の測定は継続的な定点観測であるので、参考文献[4]で特定された放射性核種、すなわちテルル132、ヨウ素131、132、セシウム134、136、137、それに一定の自然放射線量を仮定して、減衰曲線をフィットさせることができる。ガイガーカウンターが屋内に設置されていたことにより線が遮蔽されることでCPMが影響を受ける。厳密には、このことを考慮しなければならないが、本解析ではそれを行っていない。佐久間氏の家の見取り図とガイガーカウンターの設置場所は、付録Aの図付録Aに示した。

### 2.2 結果と考察

フィットの結果を図3に示す。期間は2011年3月15日16時00分から6月30日である。フィッティングの結果を表1に要約した。三春町では、住民たちは3月15日13時30分頃から放射線にさらされ始めた。つづく最初の1週間、主たる放射線源はテルル132とその娘核種ヨウ素132の崩壊であり、ヨウ素131がそれに続く。次節でくわしく述べるが、土壌試料の初期の測定から、テルル132やセシウム134、136、137の間には放射線強度の強い相関が認められるが、ヨウ素131との間にはそうした相関がない。

事故直後の段階では、放射性ヨウ素の吸引とそれによる内部被ばくが中心課題となる。ヨウ素131の拡がりに関する情報が乏しいため、内部被ばくを推定するのは不確実さを増すとする批判が多い。しかし、当データは初期の放射線被ばくがテルル132とその娘核種ヨウ素132に起因することを示し、そのことはセシウム134と137の相関にもとづき正確に裏付けることができ、そのセシウム134と137

の分布は、文部科学省（MEXT）が全国の大学や研究機関と協力して組織的な測定を実施済みである（参考文献 [5]）。筆者らもこの調査に東北大学から加わった。事実、第 4 節で取り上げる三春町の 18 の学校等の放射線調査は、この文科省の広域メッシュ調査の手順にほぼ沿って試料採取が行われた [6]。

2.3 三春町の安定ヨウ素剤服用指示のタイミングについて  
 当データ群はヨウ素 131 の吸収量について情報を与えることはできないが、三春町の 40 歳以下の町民は 3 月 15 日 13 時 00 分に直ちに安定ヨウ素剤を服用するよう指示された。世界保健機関（WHO）が発行した「Guidelines for Iodine Prophylaxis following nuclear accidents（原子力事故時のヨウ素剤予防服用のためのガイドライン）」（参考文献 [7]）によれば、放射性ヨウ素 131 を 4 時間取り込むとして、取り込み開始前もしくは開始と同時にヨウ素剤を服用した場合、回避線量（訳注：対策を講じなかった場合に比べて減らせる線量）は 100 パーセントとなる。当時、三春町役場が主導したこの決断は、福島県庁や一部の国内マスメディアから批判された。さらに、この経緯について、日本政府も福島県もいまだに公式見解や評価を出していない。我々のデータのみからは、福島第一原発事故が展開する中で、安定ヨウ素剤の服用が健康面での利益をもたらしたかどうかは判断できない。しかし、放射線防護と住民の防護の観点からすれば、3 月 15 日に福島第一原発の原子炉で何が起きているのかは言うまでもなく、市民への放射線の拡散状況に関する情報提供が皆無の状況においては、三春町の勧告は適切であり、正しい時間に出されていた。加えて、これまでに安定ヨウ素剤の服用による副作用は三春町では確認されていない。三春町の事例が、このような事故が将来起こった際への対応として、安定ヨウ素剤服用のよりよい制度と手順の確立に貢献する事を期待する。

### 3 表土試料中のテルル 132 / セシウム 137 比の測定

#### 3.1 測定の動機と背景

事故直後の放射線被ばく総量から、テルル 132 とヨウ素 132 の寄与を取り出すことの重要性は、すでに参考文献 [8] や [9] で指摘され論じられていた。われわれのデータはそうした主張をさらに裏付けるものとなった。参考文献 [8] では、データがとられたのは 2011 年 3 月 17 日から 19 日で、携帯用ガンマ線検出器でガンマ線スペクトルを調べた。し

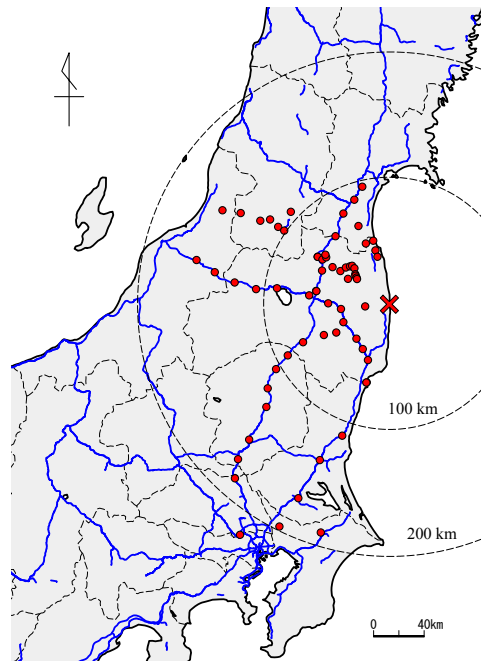


図 4 土壌試料の採取地点（赤丸）。青線は高速道路、X 印は第一原発。

表 2 図 5 で得られた、テルル 132、129 m、ヨウ素 131、そしてセシウム 134、136、137 の放射能比（測定値）。比はセシウム 137 を標準とする。ベック（Beck）係数 [11] の単位は  $\mu\text{Sv/h per Bq/m}^2$ 。

放射性核種	放射線強度比	$\sigma$	文献 [10]	ベックの係数
$^{132}\text{Te}$	6.9	1.5	$7.7 \pm 0.7$	$6.19 \times 10^{-4}$
$^{132}\text{I}$				$6.57 \times 10^{-3}$
$^{131}\text{I}$	9.4	12.0	$15.9 \pm 2.6$	$1.20 \times 10^{-3}$
$^{134}\text{Cs}$	0.98	0.03	$0.90 \pm 0.01$	$4.54 \times 10^{-3}$
$^{136}\text{Cs}$	0.21	0.02	$0.22 \pm 0.01$	$6.15 \times 10^{-3}$
$^{137}\text{Cs}$	1	N/A	1	$1.66 \times 10^{-3}$

かし、この調査は福島市一箇所に限られた。一方、参考文献 [9] では、テルル 132 / テルル 129m 比が求められ、この比を利用して、広域調査の土壌試料中のテルル 129 m（半減期 33.6 日）測定量からテルル 132 の分布を推定した。セシウム 137 は半減期が 30 年と長く、その分布は良く調べられているので、テルル 132 / セシウム 137 比を直接測定しその場所依存性が低いことが判れば、テルル 132 の情報を引き出す事が可能となる。

折しも、東北大学の共著者陣は福島第一原発の南と西の広域で主要高速道路、すなわち東北道、磐越道、それに常磐道に沿って、自発的に表土試料を集めていた。（鶴養、大津、

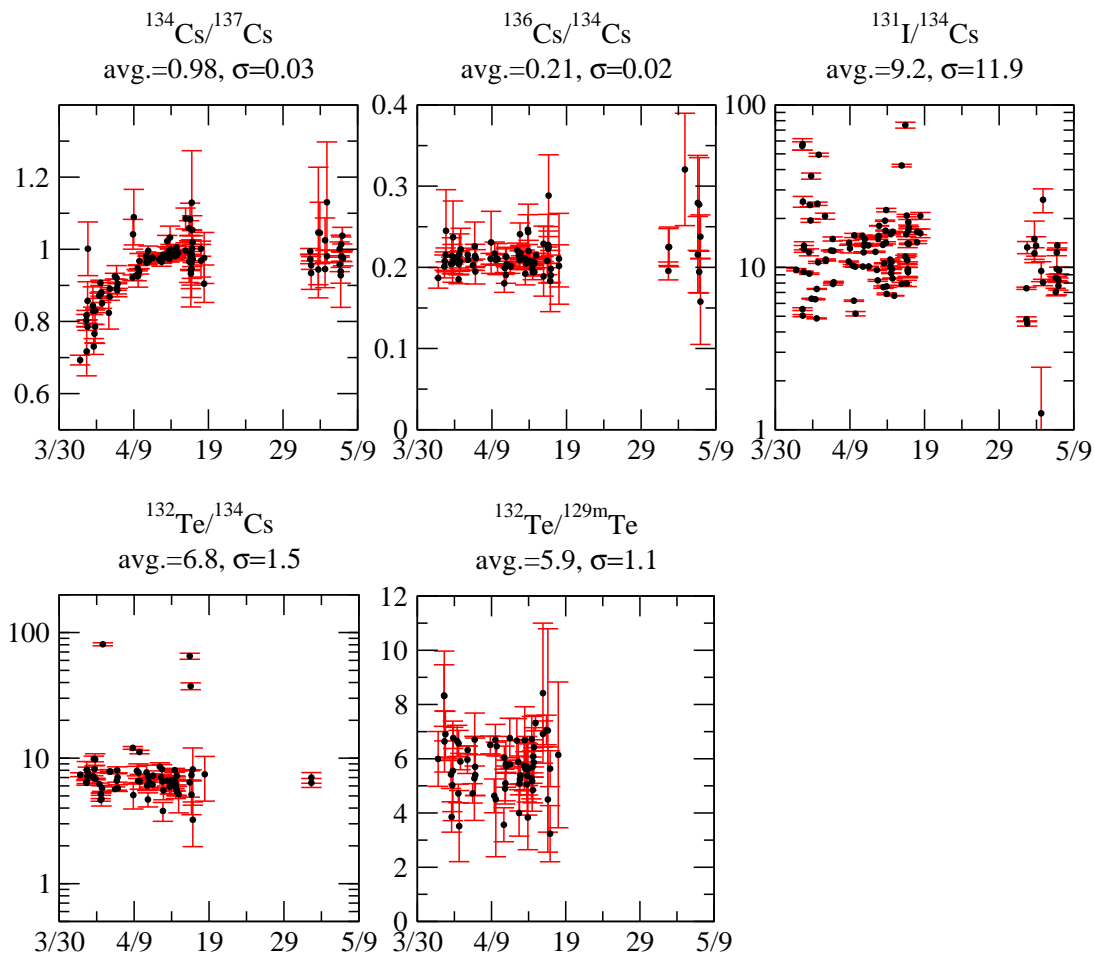


図5 テルル 132、129 m、ヨウ素 131、そしてセシウム 134、136、137 の放射能比。横軸は試料を測定した日時、試料は図4の地図上の赤丸地点で採取された。2011年3月15日16:00に戻した時の強度比。ヨウ素131とテルル132のグラフの縦軸は対数表示。

小池、篠塚、島田、塚田)同様に福島県福島市と飯舘村でも採取した。試料採取は2011年3月27日から4月30日にかけて行われた。採取地点を図4に示す。試料はHPGe検出器を用いてガンマ線分光が行われた。測定の詳細は次節で述べる。東北大学の共著者陣は環境放射線測定の実験がほとんどなく、この時の土壌試料採取法や試料の整え方はまちまちであった。それゆえ、放射線量の絶対値そのものの科学的意義は高くない。とはいえ、空气中にばらまかれた放射性核種間の相対強度は、試料採取過程の影響が小さく、試料間の比較は可能である。加えて、測定には同じシステムを使用したため、系統誤差を低減できる。

### 3.2 結果と考察

3月27日に福島市で採取し、翌日に測定した土壌試料のエネルギースペクトルを図6に示す。テルル132とヨウ素132が、ヨウ素131やセシウム同位体134、136、137と

もにはっきり見える。図5にテルル132とセシウム134の放射能比のグラフと、以下同様にセシウム134/セシウム137、セシウム136/セシウム134、ヨウ素131/セシウム134、そしてテルル132/テルル129mのグラフを示す。横軸は図4に示した地点で採取した試料の測定日時である。表2に測定した放射能比を、セシウム137で規格化して示す。これらの数値は参考文献[10]の複数のデータを統括した研究によって与えられる、3月15日16時に減衰補正した値と比較できる。また、第5節で外部被ばく積算量の推定に用いるベックの係数[11]を合わせて表記する。

#### 3.2.1 134Csと137Csの放射能比

図5のセシウム134/セシウム137のグラフを見ると、平均0.98に対し、低い数値が系統立って出現している部分が見て取れる。測定時期が早いほど、比の値も小さくなる。だが、この傾向はセシウム136/セシウム134のグラフには見られない。測定を開始した3月28日、東北大学の施

設は地震による甚大な損傷から復帰できておらず、われわれの Ge 検出器も冷却用液体窒素の供給が制限されていた。そこで、通常の AC 電源で動く小型パルスチューブ冷凍機搭載の Ge 検出器で測定した。電源からの電気ノイズのせいで、Ge 検出器の分解能は 667 キロ電子ボルトのガンマ線エネルギーに対し 6.4 キロ電子ボルト（半値全幅）であった（分解能はその後改善させた）。そのためヨウ素 131 とセシウム 137 のピーク、すなわち 661.7 キロ電子ボルトと 667.7 キロ電子ボルトを明確に分解できず、2 つのピークのフィッティングは、セシウム 137 のピーク数を過大評価することとなった。前述の系統だった傾向は約 30 日後に消失するが、それはちょうどテルル 132 の 10 半減期に当たる。そのため、図 5 では、セシウム 137 よりもむしろセシウム 134 で規格化した放射能が示されている。参考文献 [15] は、3 月 15 日～30 日に収集・測定した土壌試料の放射能（3 月 15 日に減衰補正）を報告している。加重平均は 0.89 だが、いわき中央 IC 採取点での値は 0.69 であり、そこでテルル 132 / セシウム 137 比の最高値が記録された。この低いセシウム 134・セシウム 137 の比も、テルル 132 の強度のせいでセシウム 137 の強度が多く見積もられている可能性がある。

現在のわれわれの研究から得られるセシウム 134 / セシウム 137 比の平均は 0.98、 $\sigma = 0.03$  で、場所依存性はほとんどない。この値は他の報告とも矛盾しない： $0.90 \pm 0.01$ [10]、 $0.89 \pm 0.01$ [15]、 $0.91$ [6]、そして  $0.99 \pm 0.03$ [12]。

### 3.2.2 132Te と 137Cs の放射能比の異常

セシウム 134、136 / セシウム 137 ほど一様ではないが、テルル 132 / セシウム 134 の値も、福島第一原発の南側で採取した 3 試料の異常値を除けば、変動は約 20 パーセント（1）である。その 3 つとは、いわき三和 IC（3 月 26 日採取）のテルル 132 / セシウム 137 の値 =  $80.6 \pm 2.1$ 、湯ノ岳 PA（同 3 月 29 日）の  $64.8 \pm 3.6$ 、そして勿来（同 3 月 29 日）の  $37.4 \pm 2.3$  であり、いずれも福島県内に位置する。そこでこの 3 地点は平均から除外した。示唆に富むデータを参考文献 [12] の表 6 に見ることができる。それによれば、11 地点で採取した土壌中のテルル 132 / セシウム 137 比の平均（3 月 15 日に減衰補正）は 7.6、 $\sigma = 1.4$  である。この数値は、前述の 3 地点を除外したわれわれの値 6.9、 $\sigma = 1.5$  に十分比肩する。ただし、前者はいわき市内の比が 7.0 と 7.8 の 2 地点を含み、両地点で試料が採取されたのは 3 月 18 日である。他方、われわれの試料はすべて、3 月 26 日以降に採取したものである。

3 月 20～23 日、茨城県と接するいわき市を含む北関東地

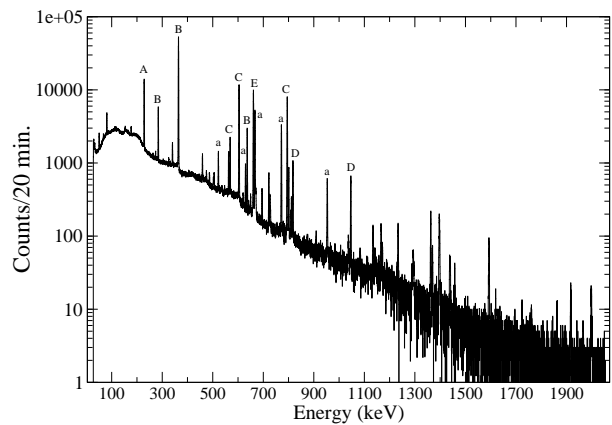


図 6 2011 年 3 月 27 日に福島市で採取し、28 日に測定した表土のガンマ線スペクトル。A：テルル 132、a：ヨウ素 132、B：ヨウ素 131、C：セシウム 134、D：セシウム 136、そして E：セシウム 137。

域で複数回の降雨が記録されている。原発事故から 2 回目となる主たる放射性物質降下はこの間に起こったとを、参考文献 [13] および [14] (p.p.134-136) は指摘する。とすると、いわき地域の試料に観測されたテルル 132 / セシウム 137 の異常値は、3 月 20～23 日の降雨時の 2 回目のフォールアウトが原因という仮説が成り立つ。さらなる証拠も参考文献 [15] に見ることができる。テルル 132 / セシウム 137 の比 =  $17.4 \pm 1.0$ （3 月 15 日に減衰補正）を記録したのはいわき中央 IC で、その土壌試料が採取されたのは 3 月 20～21 日である。また、いわき中央 IC と末続駅、それに屹兔屋（きつとや）山を除外した加重平均比は  $8.4 \pm 0.4$  であった。末続駅と屹兔屋山は同じいわき地域だが、テルル 132 / セシウム 137 比は前者が  $7.2 \pm 0.1$ 、後者が  $8.3 \pm 0.1$  に留まっている。

何故このいわき周辺においてのみテルル 132 とセシウム 137 の放射能比が高いのかの真相解明には、更に詳細なデータが必要である。特に、3 月 19 日までに採取されたこの地域の土壌試料の測定結果は重要である。すべての放出が炉心内の核反応の停止後のものであれば、テルル 132 とセシウム 137 の放射能比が場所により変化する機構は、ヨウ素 131 とセシウム 137 の比に場所による大きなばらつきがあることと類似した、テルル元素の化学的特性に依るところが大きいと予想される。しかし、ある特定の地域において大きな変動が観測される理由は依然なぞである。

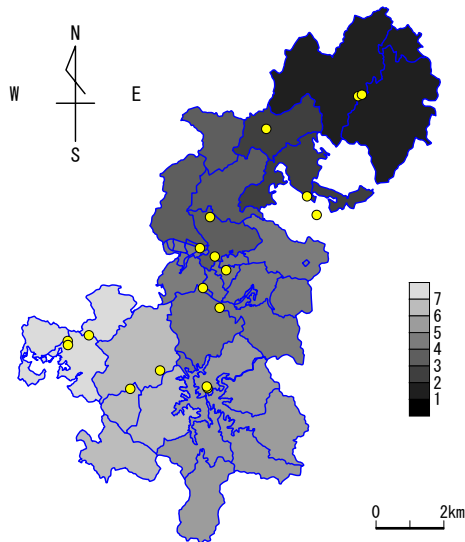


図7 三春町地図。黄色の丸が調査した幼稚・保育園、小中学校の位置。

## 4 校庭の土壌試料の測定

### 4.1 土壌試料の収集

2011年5月14日、東北大学の共著者陣（鶴養、小池、島田、山本）が協力し、三春町役場の職員らが町内18の校庭から表土試料を収集した。この調査は先述の文科省広域調査に先立って実施され、われわれは文科省の土壌試料採取方法を若干変えて用いた。地表から深さ5センチまでの表土を一定の方法で採取し、試料ごとに別のポリ袋に入れる。土壌はよく攪拌し、放射性降下物の密度をできるだけ均一にしてから、U8ポリスチレン容器に移し、重量を測った。1つの調査箇所につき、校庭の3メートル四方の区画から5地点をランダムに選んだ。こうして90の試料を収集した。この表土採取の後、三春町役場と教育委員会は校庭の表土除去にとりかかった。

### 4.2 測定のセットアップと手順

集めた試料は東北大学で、2台のHPGe検出器（ORTEC EG&G社製GMX-60220-Plus-S。3インチx3インチのNaIシンチレーション検出器に対する相対効率60%）を用いてガンマ線を測定した。測定のセットアップを図8に示す。標準線源が手に入らなかったため、われわれはGeant4（訳注：シミュレーションプログラム）を用いたモンテカルロ・シミュレーションの結果にもとづき、ピークエネルギーでの検出効率を推定した。シミュレーションで得られた検出効率は、セシウム137とコバルト60の校正線源を

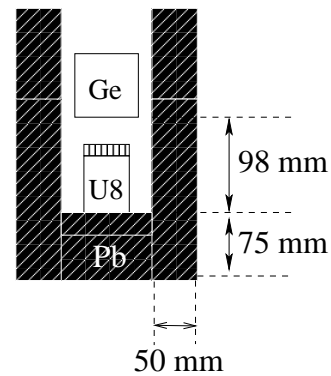


図8 測定の仕組みの略図。鉛レンガ製のチャンバーの中にゲルマニウム検出器（結晶サイズ半径70ミリ×高さ70ミリ）とU8ポリスチレン容器（半径50ミリ×高さ65ミリ）を設置する。鉛表面からGe検出器のエンドキャップまでの距離は98ミリだった。

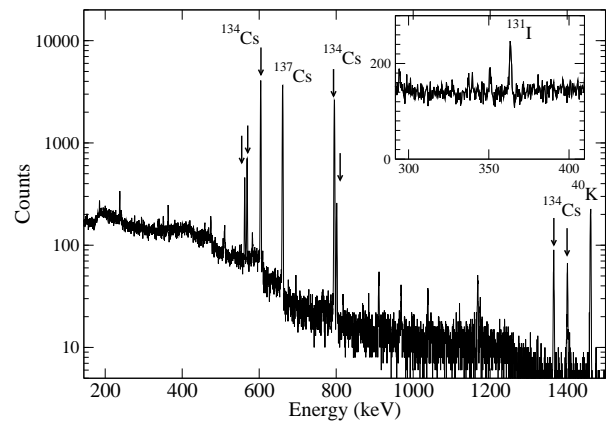


図9 2011年5月24日にHPGe検出器で得た土壌試料のエネルギースペクトル。矢印で示したピークはセシウム134からの線。右上はヨウ素131のピーク、364.5キロ電子ボルト付近を拡大したもの。

用いて実測した、661キロ電子ボルト、1172 / 1333キロ電子ボルトのピークに対する検出効率に合うようにスケールした。1つの試料の測定には、平均して5時間を費やした。

### 4.3 結果

付録Dにある、試料番号7-Cのガンマ線エネルギースペクトルを図9に示す。このスペクトルは2011年5月24日に得られた。これは3月15日の放射性物質降下から数えて、ヨウ素131のほぼ9半減期にあたる。図9の挿入グラフに見るように、ヨウ素131を示す364.5キロ電子ボルトのピークがまだ認められる。土壌試料の測定結果は付録Dの表にした。記載された数値は2011年3月16日にさかのぼって減衰補正されている。セシウム134と137の間には、図10上に示すように、放射線強度の強い相関が顕著で

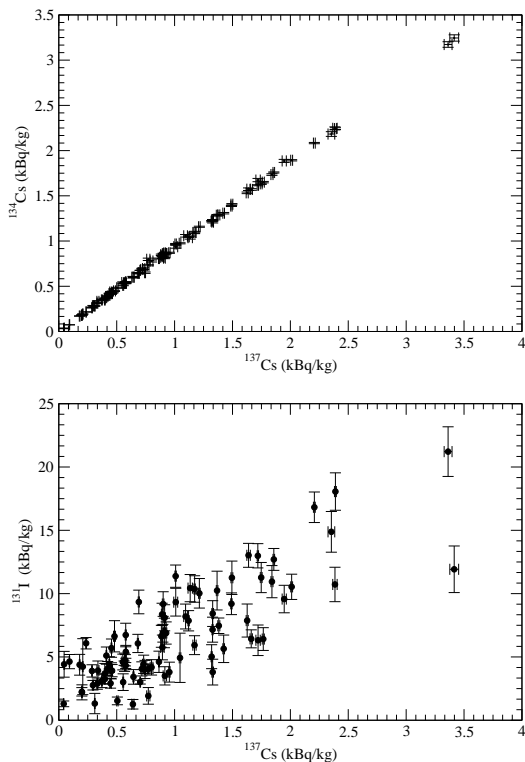


図 10 異核種間の放射線強度の相関。上はセシウム 137 とセシウム 134、下はセシウム 137 とヨウ素 131。単位は kBq (キロボクレル) / kg。2011 年 3 月 16 日 00:00 時点での強度相関。

ある。すなわち、セシウム 134 と 137 の放射能比はほぼ 1 であり、このことは図 5 と一致する。それとは逆に、この土壌データ群においても、ヨウ素 131 とセシウム同位体群の間に相関はなく、放射能比は一桁違っている。

## 5 OSL 線量計による外部被ばく個人測定

### 5.1 三春町役場による住民の放射線モニタリング：実生プロジェクト

個人レベルの放射線モニタリングが必要かつ急務なことは、事故後、比較的早くに認知されていた。福島県川俣町では 2011 年 6 月 21 日に、近畿大学を主導としたモニタリングが始まった [16]。記録として残す為、最初に、事故から約 4 ヶ月後の 2011 年 7 月 14 日、OSL 線量計を小中学生に配付するに至るまでの実生プロジェクトが直面したいくつかの障害の概略を述べる。最大の障害は制度的な問題だった。放射線管理区域外で一般市民の被ばくをモニタリングするための法制度や手続きがなかったのだ。東北大学の共著者陣のような放射線作業従事者は、通常、管理区域内での被曝線量のモニタリングが法律で義務付けられている。モ

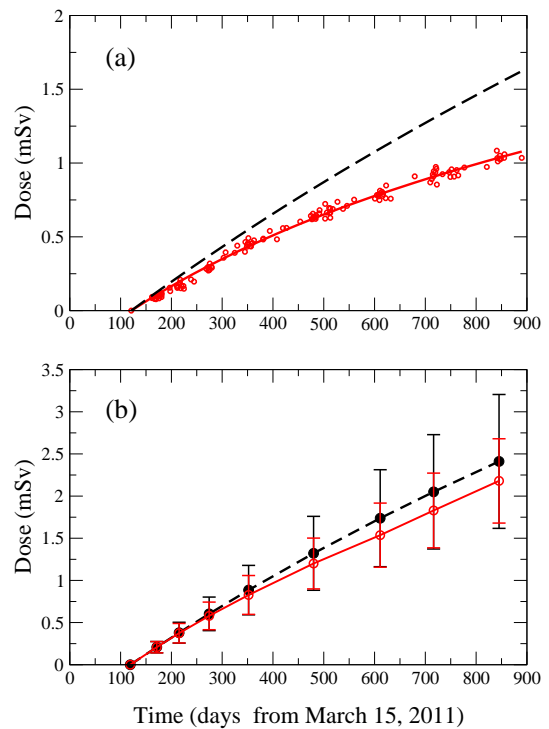


図 11 (a):三春町役場の建物内に置かれた参照用 OSL 線量計の積算量 (日関数)。赤丸が読取値で、実線は自然減衰半減期をパラメーターの 1 つとするフィッティング曲線。比較のため自然減衰なしの破線曲線を載せる。(b): (a) と同様のグラフだが、こちらは 2 年以上にわたり 8 回の測定すべてを経験した 522 人の生徒のデータ。赤の曲線は測定傾向を表し、破線曲線は最初の読出にもとづき自然減衰なしに予測したもの。

ニタリングは、個人線量測定機関 (会社) に委託している。しかし、国内では放射線放出機器および放射性同位元素は法人のみが所有を認められているので一般人が個人線量測定する必要性についての理解がなかったこと、および、専門知識を持たない一般人が、個人外部被ばく線量測定報告書を受け取って記載内容が理解可能かが判らないので、一般人に線量計の配布はおこなっていない。また、国内の放射線業務従事者数は約 40 万人で、この人数を定期的に測定サービスを行なう数の在庫を持つだけで一般人のような多数の集団の線量を測定するほどには線量計の在庫はなく、通常の顧客の線量測定を優先するため、住民への積極的な線量計の販売等は行なわなかったという事情があった。また、たとえそうした個人線量測定機関が一般人からの委託を受け入れたとしても、実生プロジェクトが目指す、数年間にわたる線量計の定期読み出しは、費用がかかりすぎた。(そもそも設立当時は寄付金のみで資金不足でのスタートであった。) その一方で、リアルタイムで計測する線量計は電



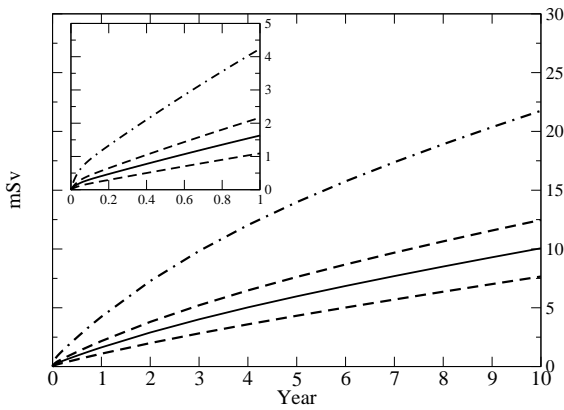


図 12 2011 年 3 月 15 日から 10 年先までの被ばく積算量予測。実線曲線は 1258 人の生徒の平均で、2 本の破線は  $3\sigma$  領域を表し、ここに標本母集団の 97.7% が入る。破点線曲線は、第 1 回測定サイクルで出た OSL 線量計の最高値にもとづく予測である。左上に初年度の外部被ばく積算量の変化を拡大して示す。

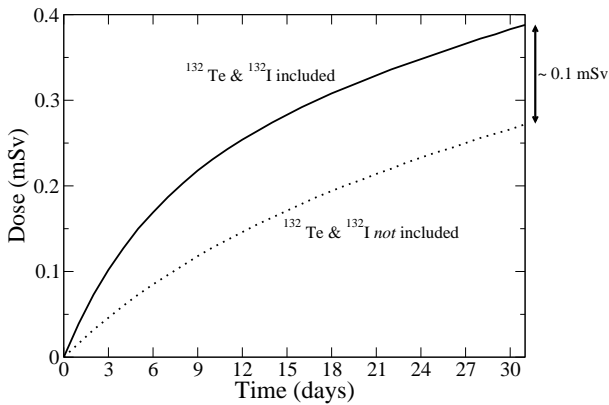


図 13 最初の一ヶ月の平均外部被ばく量積算。実線の曲線は図 12 のものと同じで、テルル 132 とヨウ素 132 の寄与が含まれている。一方で、点線はこの 2 核種の寄与を含めない場合の曲線。

池を必要とし、子どもたちに装備させるのはプライバシーやコスト、耐久性の点から現実的ではなかった。

長瀬ランダウア社（小林、小森）と協議の結果、実生プロジェクトは OSL (InLight<sup>®</sup>) 線量計とそのための携帯用読取装置 (microStar<sup>®</sup>) を採用した。このシステムとやり方なら、一人の生徒につき 1 個の線量計と全体で 1 基の読取機を購入し、あとは年 1 回の読取機を較正する費用を払うだけですみ、コストを抑えられる。教育委員会は長瀬ランダウア社の小林の指導の下、訓練を積んだ。その結果、OSL 線量計の測定から配付までのサイクル、すなわち線量計の回収から読み取り/記録、個々の生徒への結果報告、そして

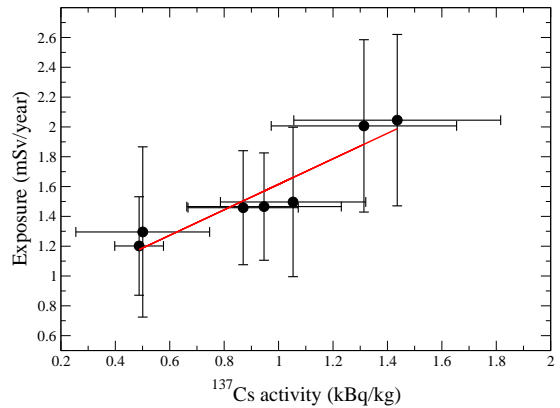


図 14 付録 D の学区の、学区毎のセシウム 137 放射線量の平均値と、第 1 回 OSL 読取から推定される 1 年目の被ばく積算量の相関。

次の測定サイクルのための返却まで、全て独自に行えるようになった。個人の記録は三春町役場が管理する。中学卒業後は、本人が望むかぎり線量計を保持し、三春町役場で読み取りを受けることができる。

## 5.2 データと解析

2011 年 6 月 20 日に実生プロジェクトがスタートしてすぐ、三春町教育委員会は町内の小中学校の全生徒に、外部被ばくの個人モニタリングへの参加の意志を聞いた。その結果 1411 人、つまり全体の約 85 パーセントが参加し、第 1 回測定が 2011 年 7 月 14 日に始まった。どの線量計も生徒に配る直前にゼロ回目の読取（オフセット値）を実施した。開始から 900 日以上が経過し、測定サイクルは 8 回を終了した。参加した生徒のうち、8 回すべてを経験したのは 522 人である。

コントロール用（参照用）として、1 個の線量計は三春町役場の建物内の定位置に配置された。図 11 (a) がそのコントロール用線量計の読取結果である。横軸は 2011 年 3 月 15 日から数えた日数である。モニタリング開始日の値をゼロとするため、オフセット値が引かれている。赤の曲線はセシウム 137 とセシウム 134 の寄与のみを考慮して得られたもので、放射性物質降下から約 120 日後では良い近似である。フィッティングには、付録 B の式 11 のほか、自由パラメーターとしてセシウム 137 の初期量 ( $N_1^0$ )、その自然減衰の半減期（雨や風等による放射性物質の移動により減少する指標）( $\tau_1^w$ )、そして自然放射線量を用いた。セシウム 137 と 134 の比率については、図 10 から抽出した測定値 1 : 0.98 を使った。比較するために、自然減衰なしの予

想曲線を合わせて示す。ここから、自然減衰の半減期 1.39 年が得られる。なお、これらのデータがとられた期間、三春町役場の建物周辺ではいっさい除染が行われていないことを付言しておく。

図 11 (b) は (a) と似たグラフを示している。黒丸は先に述べた 522 人の生徒の平均値である。誤差棒は 1 標準偏差 ( $\sigma$ ) を表す。事故前の建物内の自然放射線量  $I_{nat}$  を 0.5 mSv/year に固定し、自然減衰半減期を考慮しないと、 $N_1^0$  は第 1 回目の測定値だけで決まる。あとは式 11 を用いて、この集団に属する個々の生徒について、以降 7 回の測定の理論値が求められる。個々の測定日における計算値の平均は、誤差棒とともに赤塗り丸に示す。1  $\sigma$  を表すばらつきは第 1 回測定から伝搬させている。この単純な手順は、測定された傾向をよく再現するだけでなく、時間とともに積算量を過大評価する方向となる。これは、放射線防護の観点からすれば安全側に立つことである。なお、第 1 回測定サイクルは特殊であることを指摘しておく。個人線量計の配付は夏休み直前に行われ、読み出しは 1 ヶ月におよぶ休みをみんなで実施されたため、生徒たちの自宅の放射線量が反映されたと考えられるからである。この観察をふまえ、 $N_1^0$  を決定する現行の方式が 1258 人の生徒に適用されている。最初に配付された OSL 線量計は 1411 であったが、1258(89.2%) が配布から 2 ヶ月以内に回収され最初の読み出しを行っている。2011 年 3 月 15 日 16:00 にさかのぼり、セシウム 134、136、137、テルル 132、そしてヨウ素 131 を含む外部被ばく積算量の推定曲線が得られる。この際、表 2 にあげた測定比を用いたが、ヨウ素 131 とセシウム 137 の比は、三春町の校庭の土壌測定で得られた最高値、20:1 を用いた。また、年間の自然放射線量の寄与は、0.5 mSv を仮定した。これを図 12 に示す。実線は、 $N_1^0$  の平均値について算出した年を関数とした向こう 10 年の外部被ばく積算量予測である。破線と破点線の曲線は  $3\sigma$  帯域を表し、この帯域中に標本母集団の 99.7 パーセントが入る。実線は、第 1 回測定で OSL 線量計の最高値を出した生徒の予測である。したがって、現在の調査では、三春町における 10 年間の外部被ばく積算量は、過大に見積もって 22 mSv 以下、大半の住人は 10 mSv 程度と推定できる。図 14 に、事故後一ヶ月の外部被ばく積算量をテルル 132 とヨウ素 132 からの寄与の有無で比べた。図に示されているように、違いは約 0.1 mSv にのぼる。

最後に、町内の校庭の表土と OSL 線量計の測定結果の相

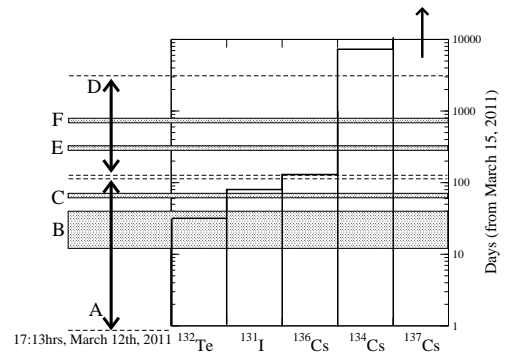


図 15 実生プロジェクトにより収集されたデータ群と当論文で論じた放射性核種の 10 半減期の関係。A: 佐久間夫妻によるガイガーカウンター測定。B: 高速道路沿いの表土試料調査。C: 三春町の校庭の表土試料調査。D: OSL 線量計を用いた個人測定(進行中)。E および F: 三春の生徒たちの WBC 調査。大半は D にも参加。

関を調べ、図 14 に示す。横軸は、セシウム 137 の放射線量で、「付録 D」にリストされた値を図 7 に示した 7 つの学区ごとに平均した値である。同様に、縦軸は、第 1 回 OSL 読取サイクルから推定される 1 年目の外部被ばく積算量の学区毎の平均値である。実線は相関の線形フィットである。したがって、当論文のデータは、もし文科省の広域メッシュ調査のようにセシウム 137 の分布が調べられていれば、外部被ばくを大まかに推定できることを示唆する。

## 6 まとめ

福島第一原発事故で生じた気中に放出された放射線量に関し、福島県三春町が収集した総合的データを提示した。また、実生プロジェクトの下、住民による市民の草の根の測定を記録として残した。われわれは、これらのデータについて、自ら収集した範囲内で、自己矛盾のない解析を行った。実生プロジェクトが集めたデータ群を図 15 にまとめた。結果として、次にあげるいくつかの結論を導いた。

- 三春町における主たる放射性物質降下は、2011 年 3 月 15 日 13 時 45 分から 15 時 00 分の間に起こった。
- 3 月 15 日の放出(降下・沈着)後は、三春町では目立った放射線量の増加は観測されなかった。
- 事故直後の段階では、テルル 132 と娘核のヨウ素 132 が主な放射線源である。(最初の 3 日間の積算外部被ばく量の約 40 パーセントを占め、総積算被ばく量に約 0.1 mSv の寄与がある。)

- 三春町役場が40歳以下の住民に安定ヨウ素剤の服用を勧告した3月15日13時00分というタイミングは、放射性雲が飛来する30分前であった。
- テルル132 / セシウム137比は、福島第一原発の南側地域、福島県いわき市を除けば、ほぼ一定であり、場所に依存しない。いわき市周辺の高いテルル132 / セシウム137比は、3月20-23日の間に沈着したものである。局所的な特異性の理由は不明である。
- テルル132、129 m、ヨウ素131、そしてセシウム134、136、137放射性同位間の放射線量比を抽出した。
- OSL線量計を用いた個人の外部被ばく調査が町ぐるみで実施され、いまま1000人以上の希望する生徒たちを対象に調査が続いている。
- 集まったデータは相互補完的で、それらすべてを統合することにより外部被ばく積算の推量を得られる。それは自然放射線の寄与も含め、10年間で平均10 mSv、最大22 mSvである。
- セシウム137の放射線強度分布がわかれば、事故直後からの外部被ばくの概算が可能である。

これらのデータが世界中の専門家によって精査・研究されることが、われわれの願いである。と同時に、100 mSv以下の低レベル放射線に晒されることの危険性については、いまだ国際的に科学的コンセンサスが得られていない。したがって、福島原発事故の影響を受けた地域では、今後10年にわたり、個人のモニタリングを継続することが重要と考える。われわれは実生プロジェクトを通じて、影響を受けた住民と地元自治体が連携した持続可能なモニタリングという、ひとつの可能性を実証してみせた。さらに、共著者である佐久間夫妻の例に見るように、[3]に代表される地道な放射線のモニタリングを継続してきた独立の市民ネットワークの潜在的効果についても、指摘しておきたい。なぜなら、一部住民がより放射線量の高い地域へ避難を指示されたという類の致命的ミスは、このような市民ネットワークの設立により避けられるからである。

最後に、三春町の子供たちと、事故後多くの家族やコミュニティの分断を招くこととなった、留まるか留まらないかの困難な選択を強いられたすべての人々に、この論文を捧げる。

## 7 謝辞

John Adamson 氏には実生プロジェクトへの寛大な寄付をして頂いた。当論文を和訳した片岡朔氏と実生プロジェクト設立趣意書を英訳した鎌田ローレル博士に感謝する。Ronan O'Reilly 氏には英文のチェックとコメントをお願いした。お礼を申し上げる。マイクロソフト社の長尾ジョナサン氏、石崎勝広氏、そして John Nave 氏の三氏には、オンラインデータ管理に関する彼らのアイディアと助言に感謝する。佐藤とむ氏からはプロジェクトの資金調達活動についてアドバイスをいただいた。深謝する。小池と田村は、大阪大学の谷畑勇夫教授に土壌試料プロトコルの提供に、東京大学の犬塚孝治教授に有意義な議論をして頂いたことに感謝する。東北大学ラジオアイソトープセンター 川村広和 博士と東北大学理学部 三輪浩司 博士には土壌測定への協力に感謝する。実生プロジェクトは、日本全国の個人からの寄付と、ドイツからの寄付、それに一部、福島県からの支援により支えられている。東北大学の共著者陣は国立大学協会と東北大学総長裁量経費から資金援助を受けた。ここに感謝の意を表す。最後に、当研究はいかなる金銭的な利益相反にも該当しないことを明記する。

## 参考文献

- [1] Ryugo Hayano *et al.*, Proc. Jpn. Acad., Ser. **89** 157 (2013)
- [2] James E. Martin, *PHYSICS FOR RADIATION PROTECTION*, New York, Wiley, John & Sons, Inc., 2000, p. 161-167.
- [3] 放射線災害警報ネットワーク. 放射線を監視する市民ネットワーク. <http://www.r-dan.net/>.
- [4] 松村 宏, 斎藤 究, 石岡 純, 上養義朋, 「高速道路上のガンマ線測定により得られた福島第一原子力発電所から飛散した放射性物質の拡散状況」, 日本原子力学会和文論文誌, 第10巻, 第3号, 152-162 ページ (2011)
- [5] 「文部科学省による放射線量等分布マップ (放射性セシウムの土壌濃度マップ) の作成について」, 文部科学省
- [6] Saito, K., *et al.*, Journal of Environmental Radioactivity (2014) in press
- [7] *Guidelines for Iodine Prophylaxis following Nuclear Accidents*, (原子力事故時のヨウ素剤予防服用のためのガイドライン) WHO/SDE/PHE/99.6 (1999) 世界保健機構 人間環境保護
- [8] Masashi Takada and Toshikazu Suzuki, Radiation Pro-

tection Dosimetry (2013) 155 (2),pp.181-196

- [9] Tagami K, Uchida S, Ishii N, Zheng J, Environ. Sci. Technol., 2013, 47 (10), pp 5007 5012
- [10] Kittisak Chaisan, Jim T. Smith, Peter Bossew, Gerald Kirchner, and Gennady V. Laptev, Sci.Rep. **3** 2520 (2013)
- [11] Beck HL. 1980. Exposure rate conversion factors for radionuclides deposited on the ground. U.S. Department of Energy, Environmental Measurements Laboratory, Report EML-378.
- [12] Masahiro Hosoda, Shinji Tokonami *et al.*, Scientific Reports **3** 2283 (2013)
- [13] Norikazu Kinoshita *et al.*, PANS, vol. 108, no. 49, 19526-19529 (2011)
- [14] UNSCEAR Sources (2014), Effects and Risks of Ionizing Radiation 2013 Report. Vol.1, Annex A.
- [15] S. Endo, S. Kimura, T. Takatsuji, K. Nanasawa, T. Imanaka, K. Shizuma, Journal of Environmental Radioactivity 111 (2012) 18-27
- [16] [www.kindai.ac.jp/topics/pdf/press110616.pdf](http://www.kindai.ac.jp/topics/pdf/press110616.pdf)

## 付録 A ガイガーカウンター屋内設置場所

ガイガーカウンター (R - DAN) は佐久間氏邸宅の居間に設置されている。木製の台の上に置かれており、地面から 150 センチ、窓ガラスから 120 センチ、屋根から 230 センチの位置である。屋根は 0.35 ミリの鉄板で、その下に 50 ミリのファイバーグラスの断熱材がしかれている。

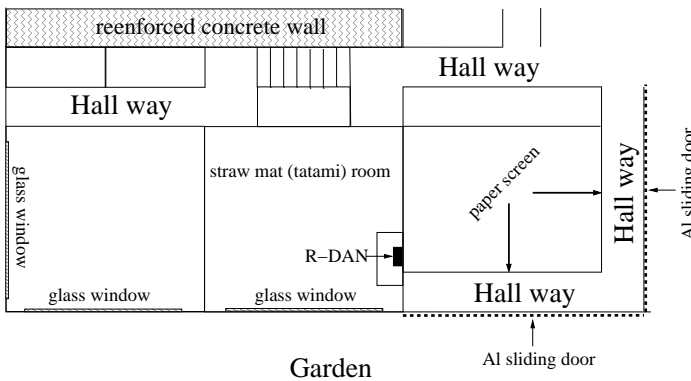


図 16 佐久間邸内のガイガーカウンターの設置場所。

## 付録 B OSL 線量計測定にもとづいた積算外部被ばく量の推算

ある放射性核種 ( $i$ ) の総数の時間の関数は、以下の微分方程式を満たす。

$$\frac{dN_i(t)}{dt} = -\frac{1}{\tau_i} N_i - \frac{1}{\tau_i^w} N_i \quad (1)$$

ここで、 $\tau_i$  は物理的減衰時間、 $1/\tau_i^w$  は自然環境中の放射性核種の移動による増減を反映させた因子である。この微分方程式の解は、

$$N_i(t) = N_i^0 e^{-t/\tau_i'} \quad (2)$$

で与えられ、

$$\frac{1}{\tau_i'} = \frac{1}{\tau_i} + \frac{1}{\tau_i^w}. \quad (3)$$

である。物理的半減期  $T_{1/2}^i$  は、 $\tau_i$  と

$$T_{1/2}^i = (\ln 2)\tau_i \quad (4)$$

で与えられる関係にある。

沈着時における放射性核種間の相対強度 ( $\alpha_i$ ) は、

$$\left. \frac{dN_i}{dt} \right|_{t=0} / \left. \frac{dN_1}{dt} \right|_{t=0} = \frac{N_i^0}{\tau_i'} / \frac{N_1^0}{\tau_1'} = \alpha_i. \quad (5)$$

で与えられる。これら放射能強度比は土壌調査の結果から求められるので、特定の放射性核種の沈着量は、

$$N_i^0 = \alpha_i \frac{\tau_i'}{\tau_1'} N_1^0. \quad (6)$$

となる。

時間  $t'$  と  $t''$  ( $t' < t''$ ) の間に OSL 線量計で測定された外部被ばく積算量 (1cm 線量当量を基にした実効線量) は、年間の自然界からの外部被ばく量を  $I_{nat}$  とすると

$$\Delta I(t'' - t') - I_{nat} \frac{t'' - t'}{365 d} = \sum_{i=1}^N \int_{t'}^{t''} c_i \left( -\frac{dN_i}{dt} \right) dt \quad (7)$$

$$= \sum_{i=1}^N c_i N_i^0 e^{-t'/\tau_i'} (1 - e^{-(t''-t')/\tau_i'}) \quad (8)$$

となる。 $c_i$  は核種  $i$  に対するベックの係数である [11]。式 6 と式 8 を解いて  $N_1^0$  を求める。ここまでの導出は、放射性娘核を伴わない一回限りの崩壊を前提としている。テルル 132 の娘核のヨウ素 132 は放射性核種でありこれに該当しないが、ヨウ素 132 の場合には過渡的平衡の近似が有効である [2]。よって、ヨウ素 132 の数  $N_I$  は次の式で与えられる。

$$N_I(t) = \frac{\tau_{Te}}{\tau_{Te} - \tau_I} N_{Te}^0 e^{-t/\tau_{Te}} \quad (9)$$

ここで、 $\tau_{Te}$  と  $\tau_I$  は、それぞれテルル 132 とヨウ素 132 の減衰時間である。この近似を用いて、ヨウ素 132 の放射能を合わせたテルル 132 に対する実効的なベックの係数は、

$$c'_{Te} = c_{Te} + c_I \frac{\tau_{Te}}{\tau_{Te} - \tau_I}. \quad (10)$$

と表せる。最終的に、福島第一原発事故からの外部被ばく積算量は、

$$I(t) = \frac{N_1^0}{\tau_1'} \sum_{i=1}^N c_i \alpha_i \tau_i' (1 - e^{-t/\tau_i'}) + I_{nat.} \frac{t}{365 d}. \quad (11)$$

と求めることができる。

## 付録 C 「三春“実生”プロジェクト」趣意書

福島第一原子力発電所の事故により、多くの施設周辺の住民が強制退去、避難を余儀なくされ、また、退避を免れた住民の多くが放射能汚染の長期的な被害に怯えている。特に、放射線被曝に敏感な幼児、子供たちの健康への影響は最も気がかりである。さらに、食の安全を追求してきた福島県の農家は、農地の放射能汚染という到底受け入れ難い現実と直面している。政府、福島県が放射能測定を行い文科省が公表してはいるものの、測定点は限られており、詳細な汚染状態の把握が急務となっている。また、福島第一原発事故は現在進行形であり、今後のM8クラスの余震発生の可能性を考えると、有事に備えてリアルタイムで放射能汚染をモニターするシステムの構築が切望される。一方で、放射能汚染は、福島の美しい山里の物理的な汚染に留まらず、国民の放射線に対する無知と不十分な情報公開に起因する心の汚染へと拡大し、風評被害と差別を引き起こすに至っている。国内のみならず、心の汚染は世界的規模に広がりつつあり、既に日本経済への影響としても表れている。

三春“実生”プロジェクトは、福島県三春町在住の桜守が千年後にも生き続ける桜を育てようと、苗木からではなく、種からの育成（実生）にこだわる姿勢に共感を得たことがきっかけで発案された。これを、今回の原発事故に対する草の根レベルの活動を実現させるための基本理念に据えて提案するに至った。基金は「土壌（コミュニティ）」を提供し、プロジェクト（活動）は県民・国民・世界市民のボランティアがそこに種を蒔き、直接参加する行為を意味する。この「土壌」は、科学的精神（scientific integrity）に基づくべきであり、行政、民間、教育機関、宗教、国籍等あらゆる壁を超え、誰にでも開かれた中立で公正なものでなければならない。

ここに三春町町民はプロジェクトを立ち上げ、最初の活動として、町民が希望する農地、校庭の放射能汚染濃度の測定を行う。これまでの東北大有志による土壌汚染測定の結果、10 m単位でも放射能濃度が大きく異なっている事例もあり、各家庭でのきめ細かな測定が望まれる。よって、10台のサーベーターを手配し、町内会で町民が必要に応じて空間線量を測定できる体制を整える。また、希望者が指定されたポータルに任意に測定量を公開できるシステムも整備し、その有用性を検証する。さらに、希望する成人にはポケット線量計を配付し、積算量を毎週一回報告してもらう。義務教育にある町内の子供にもOSL線量計の着用を促し、希望者全員の被曝量をモニターする。最終的には、このパイロットプロジェクトで得られた経験を土台として、希望する他の市町村へそのノウハウを積極的に提供する。また、福島県、日本政府にこの市町村レベルでの取り組みへの全面的な支援を働きかけ、全世界へも発信する。特に放射線に関する防護法や健康管理など、専門的なアドバイス・サポートは東北大学有志が積極的にこれを行うものとする。

今回の震災は千年に一度の規模と言われている。三春町町民と東北大学研究者有志は、この「一大事」を認識し、多くの犠牲者の命を受け継いだ我々の使命が、桜守に倣い千年後を見据えて、今このときにこの場所で種を蒔く行動を起こすことであることを確認し、表明するものである。

平成 23 年 6 月 20 日

## 付録 D 校庭の土の放射能測定結果

表3 三春町の幼稚園、保育園、小中学校の校庭から収集された90の表土試料の放射能測定結果。学区番号は図. 7に表記されたもの。

School District	Sample ID	<sup>131</sup> I (kBq/kg)	<sup>134</sup> Cs (kBq/kg)	<sup>137</sup> Cs (kBq/kg)	School District	Sample ID	<sup>131</sup> I (kBq/kg)	<sup>134</sup> Cs (kBq/kg)	<sup>137</sup> Cs (kBq/kg)
4	1-A	3.2 ± 0.4	0.44 ± 0.01	0.45 ± 0.01	1	10-A	16.2 ± 1.8	2.08 ± 0.03	2.35 ± 0.03
	1-B	7.0 ± 0.8	1.47 ± 0.01	1.66 ± 0.01		10-B	10.2 ± 1.0	0.64 ± 0.01	0.69 ± 0.01
	1-C	4.7 ± 0.3	0.52 ± 0.01	0.58 ± 0.01		10-C	9.2 ± 1.1	1.23 ± 0.01	1.33 ± 0.01
	1-D	4.4 ± 0.4	0.71 ± 0.01	0.77 ± 0.01		10-D	5.6 ± 0.7	0.38 ± 0.01	0.41 ± 0.01
	1-E	4.8 ± 0.8	0.66 ± 0.01	0.73 ± 0.01		10-E	6.2 ± 0.8	0.42 ± 0.01	0.46 ± 0.01
3	2-A	4.6 ± 0.7	0.73 ± 0.01	0.80 ± 0.01	1	11-A	23.1 ± 2.1	2.99 ± 0.04	3.36 ± 0.03
	2-B	4.2 ± 0.5	0.26 ± 0.01	0.29 ± 0.01		11-B	7.3 ± 1.0	0.52 ± 0.01	0.58 ± 0.01
	2-C	8.8 ± 1.1	0.85 ± 0.01	0.91 ± 0.01		11-C	2.4 ± 0.7	0.18 ± 0.01	0.20 ± 0.01
	2-D	3.7 ± 0.6	0.59 ± 0.01	0.65 ± 0.01		11-D	19.7 ± 1.6	2.19 ± 0.01	2.39 ± 0.01
	2-E	5.2 ± 0.5	0.54 ± 0.01	0.58 ± 0.01		11-E	11.2 ± 1.7	1.26 ± 0.01	1.37 ± 0.01
6	3-A	3.8 ± 0.8	0.85 ± 0.02	0.92 ± 0.02	2	12-A	14.2 ± 1.0	1.50 ± 0.02	1.64 ± 0.02
	3-B	4.0 ± 0.9	0.37 ± 0.01	0.40 ± 0.01		12-B	12.4 ± 1.0	0.93 ± 0.01	1.01 ± 0.01
	3-C	4.1 ± 0.9	0.88 ± 0.01	0.96 ± 0.01		12-C	4.5 ± 0.6	0.38 ± 0.01	0.42 ± 0.01
	3-D	3.3 ± 0.7	0.52 ± 0.01	0.56 ± 0.01		12-D	13.8 ± 0.9	1.74 ± 0.01	1.86 ± 0.01
	3-E	7.8 ± 1.1	1.23 ± 0.01	1.33 ± 0.01		12-E	10.9 ± 1.3	1.12 ± 0.01	1.21 ± 0.01
6	4-A	1.4 ± 0.4	0.58 ± 0.01	0.64 ± 0.01	2	13-A	10.4 ± 1.2	1.74 ± 0.02	1.95 ± 0.02
	4-B	4.6 ± 2.4	0.19 ± 0.01	0.21 ± 0.01		13-B	7.5 ± 1.0	0.84 ± 0.01	0.93 ± 0.01
	4-C	5.4 ± 2.1	0.95 ± 0.01	1.05 ± 0.01		13-C	6.6 ± 0.8	0.63 ± 0.01	0.68 ± 0.01
	4-D	4.1 ± 1.1	1.23 ± 0.01	1.33 ± 0.01		13-D	5.9 ± 0.6	0.54 ± 0.01	0.58 ± 0.01
	4-E	5.5 ± 1.0	1.22 ± 0.01	1.32 ± 0.01		13-E	9.1 ± 1.0	0.83 ± 0.01	0.89 ± 0.01
5	5-A	4.3 ± 0.8	0.31 ± 0.01	0.34 ± 0.01	2	14-A	4.9 ± 0.2	0.50 ± 0.01	0.56 ± 0.01
	5-B	4.4 ± 0.6	0.64 ± 0.01	0.72 ± 0.01		14-B	4.3 ± 0.5	0.42 ± 0.01	0.46 ± 0.01
	5-C	3.3 ± 0.2	0.64 ± 0.01	0.70 ± 0.01		14-C	12.3 ± 1.4	1.38 ± 0.01	1.50 ± 0.01
	5-D	3.0 ± 0.4	0.28 ± 0.01	0.30 ± 0.01		14-D	1.4 ± 0.9	0.28 ± 0.01	0.31 ± 0.01
	5-E	1.7 ± 0.3	0.45 ± 0.01	0.51 ± 0.01		14-E	2.4 ± 0.4	0.18 ± 0.01	0.20 ± 0.01
5	6-A	2.1 ± 0.7	0.70 ± 0.01	0.77 ± 0.01	4	15-A	4.3 ± 0.7	0.39 ± 0.01	0.45 ± 0.01
	6-B	4.8 ± 0.7	0.40 ± 0.01	0.44 ± 0.01		15-B	5.0 ± 0.6	0.08 ± 0.01	0.09 ± 0.01
	6-C	3.2 ± 0.5	0.31 ± 0.01	0.33 ± 0.01		15-C	4.8 ± 0.9	0.17 ± 0.01	0.18 ± 0.01
	6-D	3.4 ± 0.6	0.34 ± 0.01	0.37 ± 0.01		15-D	4.8 ± 1.1	0.04 ± 0.01	0.05 ± 0.01
	6-E	3.6 ± 0.4	0.36 ± 0.01	0.40 ± 0.01		15-E	1.4 ± 0.2	0.03 ± 0.01	0.04 ± 0.01
7	7-A	13.0 ± 2.0	3.12 ± 0.04	3.42 ± 0.04	3	16-A	6.5 ± 0.8	1.04 ± 0.01	1.17 ± 0.01
	7-B	6.3 ± 1.1	0.77 ± 0.02	0.90 ± 0.02		16-B	5.0 ± 0.9	0.80 ± 0.01	0.87 ± 0.01
	7-C	8.1 ± 0.7	1.22 ± 0.01	1.38 ± 0.01		16-C	7.2 ± 1.3	0.45 ± 0.01	0.48 ± 0.01
	7-D	6.9 ± 1.3	1.61 ± 0.02	1.72 ± 0.02		16-D	7.5 ± 1.3	0.70 ± 0.01	0.91 ± 0.01
	7-E	11.7 ± 1.5	2.20 ± 0.02	2.39 ± 0.02		16-E	6.2 ± 1.2	1.25 ± 0.01	1.42 ± 0.01
7	8-A	10.2 ± 1.2	0.89 ± 0.02	1.01 ± 0.02	3	17-A	8.9 ± 1.1	1.00 ± 0.02	1.10 ± 0.02
	8-B	7.5 ± 0.8	0.82 ± 0.01	0.90 ± 0.01		17-B	18.3 ± 1.3	2.04 ± 0.01	2.21 ± 0.01
	8-C	10.0 ± 1.1	0.84 ± 0.01	0.90 ± 0.01		17-C	11.9 ± 1.4	1.70 ± 0.01	1.84 ± 0.01
	8-D	7.0 ± 1.0	1.62 ± 0.01	1.77 ± 0.01		17-D	12.3 ± 1.3	1.60 ± 0.01	1.75 ± 0.01
	8-E	10.0 ± 0.9	1.37 ± 0.01	1.49 ± 0.01		17-E	14.2 ± 1.0	1.59 ± 0.01	1.72 ± 0.01
7	9-A	11.4 ± 1.2	1.03 ± 0.02	1.14 ± 0.02	4	18-A	5.0 ± 0.7	0.52 ± 0.01	0.55 ± 0.01
	9-B	8.6 ± 0.9	1.04 ± 0.01	1.12 ± 0.01		18-B	5.0 ± 0.8	0.53 ± 0.01	0.57 ± 0.01
	9-C	11.5 ± 1.1	1.89 ± 0.01	2.01 ± 0.01		18-C	8.6 ± 1.4	1.52 ± 0.01	1.63 ± 0.01
	9-D	6.6 ± 0.5	0.22 ± 0.01	0.24 ± 0.01		18-D	7.2 ± 0.9	0.83 ± 0.01	0.89 ± 0.01
	9-E	11.3 ± 1.1	1.09 ± 0.01	1.17 ± 0.01		18-E	4.4 ± 0.8	0.68 ± 0.01	0.75 ± 0.01